

TEMA II

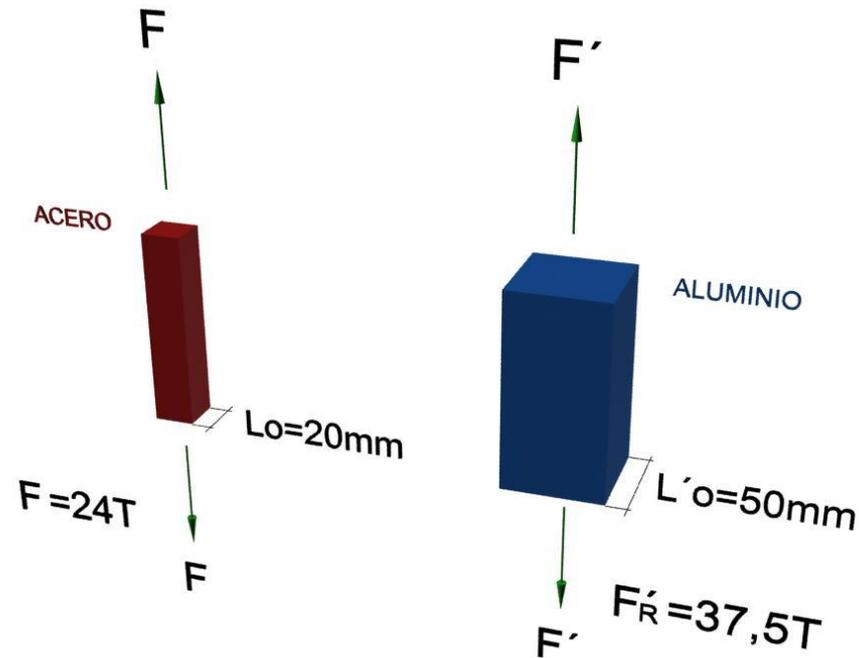
Elasticidad

LECCIÓN 2

Ley de Hooke

2.1 TENSIÓN

Comparación de la resistencia mecánica a tracción de dos materiales distintos:



¿Cuál de los dos materiales es más resistente?

Tensión ingenieril (σ): cociente entre fuerza actuante y la superficie de la sección inicial sobre la que actúa.

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

F representa la carga aplicada (N)

A_0 representa la sección transversal inicial (m^2)

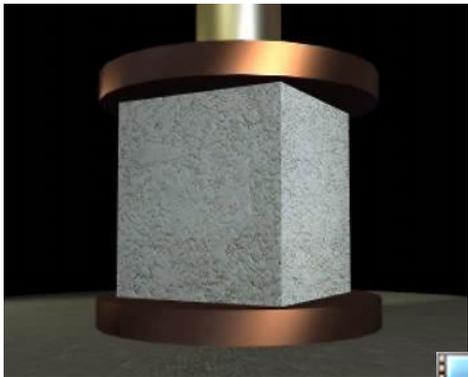
Fórmula dimensional de la tensión: $F L^{-2}$  Unidades SI: $N/m^2 = Pa$

(múltiplo habitual: $1 MPa = 10^6 Pa = 1 N/mm^2$)

Tipo sollicitación:

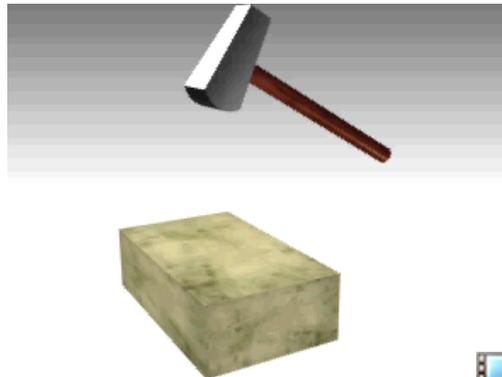
- Estática

constante o cambia lentamente



- Dinámica

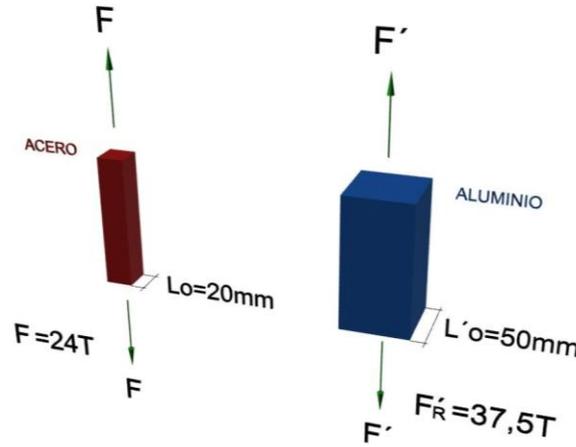
Impacto
choque entre dos cuerpos



Cíclica
fluctúa entre dos límites



En el **ejemplo planteado**:



ACERO

$$A_0 = L_0 \times L_0 = 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} = 400 \text{ mm}^2$$

$$F_R = 24 \text{ T} = 24.000 \text{ kg} = 240.000 \text{ N}$$

$$\sigma_R = \frac{F_R}{A_0} = \frac{240.000 \text{ N}}{400 \text{ mm}^2} = 600 \text{ MPa}$$

ALUMINIO

$$A'_0 = L'_0 \times L'_0 = 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} = 2500 \text{ mm}^2$$

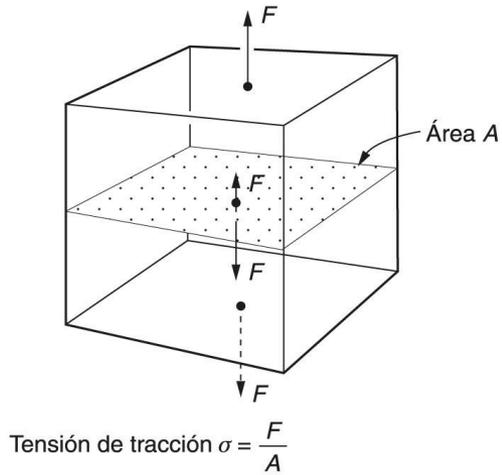
$$F'_R = 37.5 \text{ T} = 37.500 \text{ kg} = 375.000 \text{ N}$$

$$\sigma'_R = \frac{F'_R}{A'_0} = \frac{375.000 \text{ N}}{2.500 \text{ mm}^2} = 150 \text{ MPa}$$

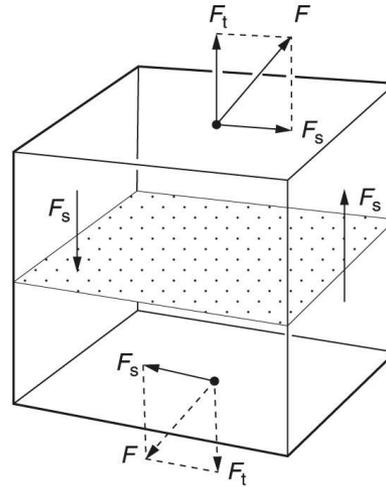
$$\sigma_R > \sigma'_R$$

EL ACERO ES MÁS RESISTENTE QUE EL ALUMINIO

Estados tensionales comunes

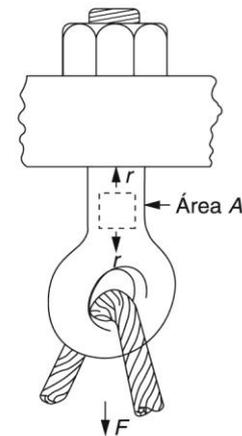


Tensión normal

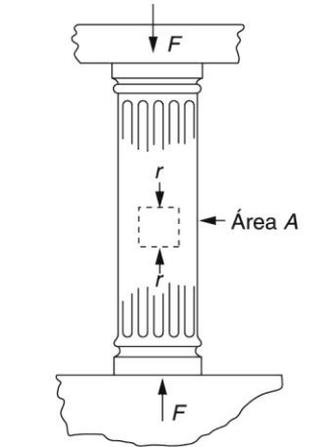


Cizalla compensadora necesaria para el equilibrio, como se muestra

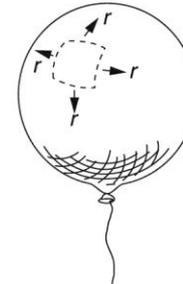
Tensión tangencial cortante de cizalladura



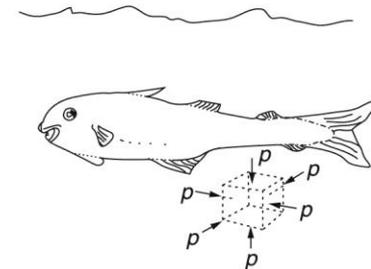
Tracción simple, $\sigma = \frac{F}{A}$



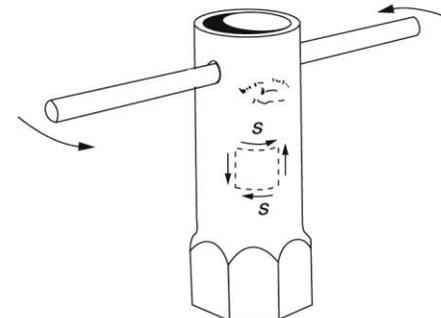
Compresión simple, $\sigma = \frac{F}{A}$



Tracción biaxial, $\sigma = \frac{F}{A}$



Presión hidrostática, $p = -\frac{F}{A}$



Cizalla pura, $\tau = \frac{F_s}{A}$

2.2 DEFORMACIÓN

Cambio de forma o dimensiones producido por la acción de esfuerzos

Deformación ingenieril (ε): se define como

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (\text{Adimensional})$$

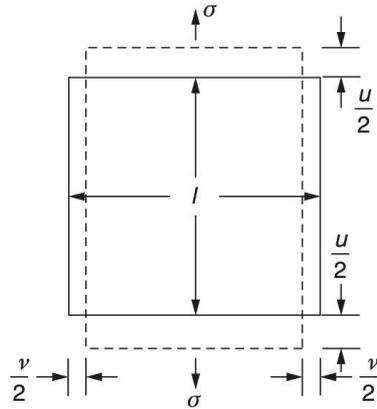
Donde l es la longitud de referencia correspondiente a una carga determinada y l_0 es la longitud de referencia inicial (base de medida) correspondiente a un valor de tensión nulo.

La longitud de la base de medida bajo una carga determinada es

$$l = l_0 + \Delta l$$

Donde Δl representa el alargamiento correspondiente a esa carga

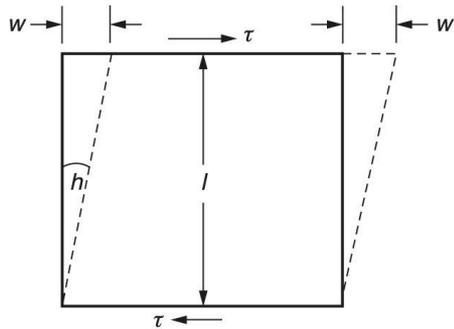
TIPOS DE DEFORMACIONES



Deformación de tracción nominal, $\epsilon_n = \frac{u}{l}$

Deformación lateral nominal, $\epsilon_n = \frac{\nu}{l}$

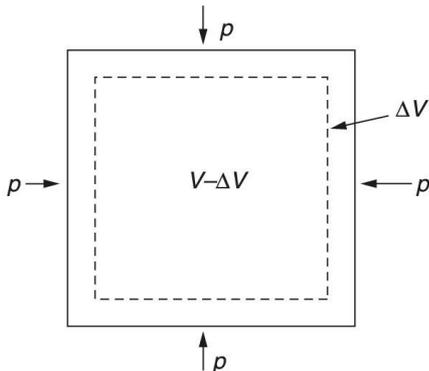
Coefficiente de Poisson, $\nu = - \frac{\text{contracción lateral}}{\text{deformación de tracción}}$



Deformación de cizalla ingenieril

$$\gamma = \frac{w}{l} = \tan \theta$$

$\approx \theta$ para deformaciones pequeñas



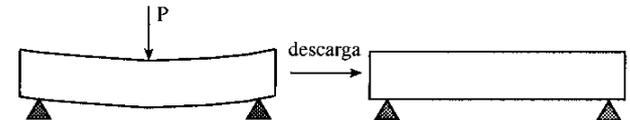
Dilatación (deformación en volumen)

$$\Delta = \frac{\Delta V}{V}$$

Deformación elástica

Es una deformación no permanente, que se recupera completamente al retirar la carga que la provoca

La **Elasticidad** es la propiedad que presentan los cuerpos sólidos de recuperar la forma y las dimensiones cuando cesan los esfuerzos



Deformación plástica

Es una deformación permanente, que no se recupera al retirar la carga que la provoca, aunque sí se recupera una pequeña componente de deformación elástica

2.3 RELACIONES ENTRE TENSIONES Y DEFORMACIONES: LEY DE HOOKE

Para pequeñas deformaciones elásticas (~ 0.1%), existe una proporcionalidad directa entre las tensiones aplicadas y las deformaciones producidas

$$\sigma = E \varepsilon \quad \text{Ley de HOOKE}$$

E representa el módulo de elasticidad o **módulo de YOUNG**, parámetro que mide la resistencia de un material a la deformación elástica

Unidades SI: $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$ (múltiplo habitual: $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa} = 10^3 \text{ MPa}$)

Para otros estados tensionales:

✓ esfuerzo cortante puro: $\tau = G \cdot \gamma$ G (Módulo rigidez o cizalladura)

✓ presión hidrostática: $p = -K \cdot \Delta$ K (Módulo compresibilidad)

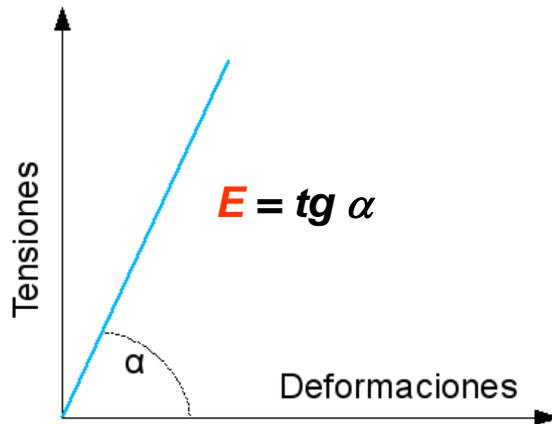
Módulos de elasticidad bajos

FLEXIBILIDAD

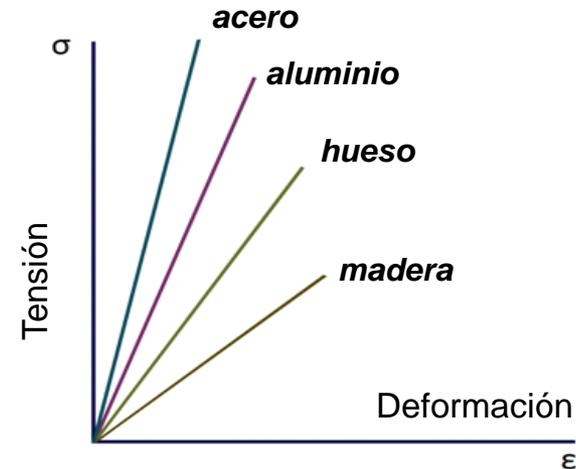
Módulos de elasticidad altos

RIGIDEZ

La **Ley de HOOKE** expresa la ecuación de una recta de pendiente E que pasa por el origen de coordenadas



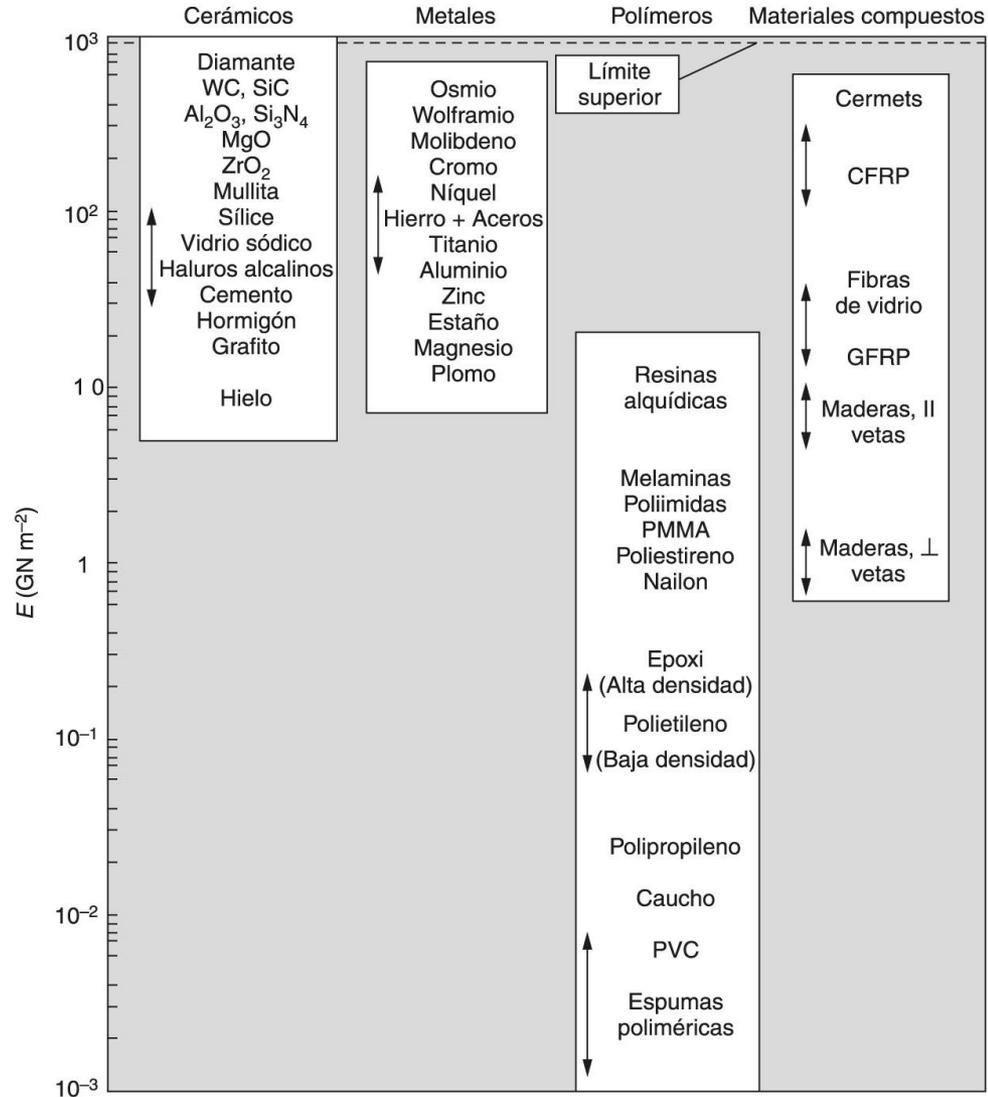
Las ramas de carga y descarga coinciden



$$E_{\text{acero}} > E_{\text{aluminio}} > E_{\text{hueso}} > E_{\text{madera}}$$

El **límite elástico** σ_y de un material representa la tensión máxima que soporta sin sufrir deformaciones permanentes (plásticas)

2.4 VALORES DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD



Datos del módulo de Young, E .

Material	E (GN m ⁻²)
Diamante	1000
Carburo de wolframio, WC	450-650
Osmio	551
Cermets de cobalto/carburo de wolframio	400-530
Boruros de Ti, Zr, Hf	450-500
Carburo de silicio, SiC	430-445
Boro	441
Wolframio y sus aleaciones	380-411
Alúmina, Al ₂ O ₃	385-392
Óxido de berilio (berilia), BeO	375-385
Carburo de titanio, TiC	370-380
Carburo de tántalo, TaC	360-375
Molibdeno y sus aleaciones	320-365
Carburo de niobio, NbC	320-340
Nitruro de silicio, Si ₃ N ₄	280-310
Berilio y sus aleaciones	290-318
Cromo	285-290
Magnesia, MgO	240-275
Cobalto y sus aleaciones	200-248
Circona, ZrO ₂	160-241
Níquel	214
Aleaciones de níquel	130-234
CFRP	70-200
Hierro	196
Superaleaciones base hierro	193-214
Aceros ferríticos, aceros de baja aleación	196-207
Aceros inoxidables austeníticos	190-200
Aceros dulces	200
Fundiciones de hierro	170-190
Tántalo y sus aleaciones	150-186
Platino	172
Uranio	172
Materiales compuestos boro/epoxi	80-160
Cobre	124
Aleaciones de cobre	120-150
Mullita	145
Vanadio	130
Titanio	116
Aleaciones de titanio	80-130
Paladio	124
Latones y bronces	103-124
Niobio y sus aleaciones	80-110
Silicio	107

Datos del módulo de Young, E (continuación).

Material	E (GN m ⁻²)
Circonio y sus aleaciones	96
Vidrio de sílice, SiO ₂ (cuarzo)	94
Zinc y sus aleaciones	43-96
Oro	82
Calcita (mármol, piedra caliza)	70-82
Aluminio	69
Aluminio y sus aleaciones	69-79
Plata	76
Vidrio sódico	69
Haluros alcalinos (NaCl, LiF, etc.)	15-68
Granito	62
Estaño y sus aleaciones	41-53
Hormigón, cemento	30-50
Fibra de vidrio (fibra de vidrio/epoxi)	35-45
Magnesio y sus aleaciones	41-45
GFRP	7-45
Grafito	27
Esquisto	18
Maderas comunes, paralelo a la veta	9-16
Plomo y sus aleaciones	16-18
Resinas alquídicas	14-17
Hielo, H ₂ O	9,1
Melaminas	6-7
Poliimidas	3-5
Poliésteres	1,8-3,5
Acrílicos	1,6-3,4
Nailon	2-4
PMMA	3,4
Poliestireno	3-3,4
Epoxis	2,6-3
Policarbonato	2,6
Maderas comunes, perpendicular a la veta	0,6-1,0
Polipropileno	0,9
PVC	0,2-0,8
Polietileno, alta densidad	0,7
Polietileno, baja densidad	0,2
Elastómeros	0,01-0,1
Corcho	0,01-0,03
Espumas poliméricas	0,001-0,01

Valores expresados en GPa (1 GPa = 10^9 Pa)

ALTOS

Diamante	1000
Carburo de W	550
Carburo de Si	450
Alúmina	390

MEDIOS

Cromo	290
Níquel	215
Hierro, aceros	200
Fundición	180

BAJOS

Oro	80
Plata	75
Aluminio	70
Granito	60
Hormigón	50
Madera fibra	15
Madera fibra	1

MUY BAJOS

Nylon	3
Polietileno HD	0.7
Polietileno LD	0.2
Caucho	0.05
Espumas	0.005

Materiales de aplicación práctica en ingeniería

$E: 10^3 - 10^{-3}$ GPa

2.5 ACTIVIDADES DE SEGUIMIENTO